

鉄鉱石混入コンクリートの鉄筋防食効果(1)

——オートクレーブによる腐食促進実験——

Effects of Ironore-admixture on Corrosion Protection of Rebar in Concrete · Part (1)
 ——Accelerative Experiments of Corrosion by Autoclave——

魚 本 健 人*・星 野 富 夫*・辻 恒 平*
 Taketo UOMOTO, Tomio HOSHINO and Kouhei TSUJI

1. は じ め に

鋼材腐食による劣化機構の解明と防食方法を確立するために、各種の防食処理を施した鉄筋コンクリート梁の海洋飛沫帯における暴露実験を5年間にわたって実施したことは、すでに報告した¹⁾²⁾。

この一連の実験において、鋼材腐食に十分な塩化物の侵入が認められるにも関わらず、鋼繊維補強コンクリートならびに鉄粉混入コンクリートのコンクリート中の鉄筋の腐食は、比較のための無処理コンクリートの場合よりも少なく、鋼繊維および鉄粉の腐食もコンクリート表面から高々1mm程度であった³⁾。このように鋼繊維および鉄粉をコンクリートに混入することにより、鉄筋の防食が図れるということは、内外を通じてほとんど報告されていない。今回報告するものは、これらの実験結果を参考として、鉄鉱石あるいは鉄粉をコンクリートに混入することにより、積極的にコンクリート中の鉄筋の防食を図ろうとするものである。すでに筆者らは、赤鉄鉱石砕砂を細骨材として用いたコンクリートのオートクレーブ(高温高圧蒸気養生)による腐食促進実験により、防食効果が認められることを報告⁴⁾したが、本報告では、腐食促進実験としてのオートクレーブの検討と、鉄鉱石を混入した場合の防食効果を解明するために、製鋼の際に発生するミルスケールをコンクリートに混入した場合の防食効果についても実験的に検討した。

2. 試 験 方 法

2.1 供試体

使用した赤鉄鉱石砕砂およびミルスケールの化学組成ならびに物理的性質を表-1、表-2に示す。

基準となるコンクリートの配合は、普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比=60%、s/a=47%、スランプ8cm±1cmとなるように定めたものである。

赤鉄鉱石砕砂およびミルスケールを混入した場合の配

*東京大学生産技術研究所 第5部

合を表-3に示す。赤鉄鉱石砕砂混入コンクリートの場合には、細骨材の一部として、25%ピッチで100%まで置き換えた。また、ミルスケール混入コンクリートの場合には、ミルスケールをコンクリート容積の10%と20%混入した。一方、鉄筋の腐食を促進させるために、上記のコンクリートの練り混ぜ水に、塩化物イオンで5kg/m³相当のCaCl₂を外割りで混練水に溶かして混入した。

オートクレーブの回数による腐食状態やコンクリートの組成の変化を調べるための基礎実験では、基準コンクリートの配合のコンクリートを用い、塩分混入と塩分無混入のコンクリートについて実験した。

供試体は、φ10×20cmの円柱型枠にφ13mm、L=

表-1 鉄鉱石および鉄粉の化学組成(%)

種 類	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
赤鉄鉱石砕砂	95.1	0.15	0.05	2.8	1.1	0.05	0.03
ミルスケール	32.7	65.8	—	—	—	—	—

表-2 物理試験結果

種 類	比重	吸水率 (%)	F.M	各フレイに留まるものの重量百分率(%)						
				5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
川 砂	2.63	1.78	3.19	0	20	49	71	86	93	
赤鉄鉱石砕砂	4.29	4.43	3.43	0	22	40	53	67	75	
ミルスケール	5.14	—	—	—	—	—	—	—	8	

表-3 コンクリートの配合

コンクリートの種類	単 位 量 (Kg/m ³)							スランプ (cm)
	水	セメント	粗骨材	川砂	鉄粉	鉄鉱石砕砂	CaCl ₂	
普通コンクリート	200	333	994	860	—	—	7.85	7.8
赤鉄鉱石砕砂(25%)	200	333	994	644	—	352	7.85	9.2
赤鉄鉱石砕砂(50%)	200	333	994	431	—	699	7.85	8.8
赤鉄鉱石砕砂(75%)	200	333	994	216	—	1051	7.85	6.6
赤鉄鉱石砕砂(100%)	200	333	994	—	—	1402	7.85	7.5
ミルスケール(10%)	200	333	851	736	514	—	7.85	6.4
ミルスケール(20%)	200	333	707	613	1028	—	7.85	0.5

研究速報

160mmの磨き丸鋼を、JCI-SC2の試験方法に準じて、鉄筋のかぶり厚さが1 cmおよび2 cmとなるように固定したものである。また、強度試験用の供試体もそれぞれ作製した。

2.2 腐食促進試験

供試体は、脱型後20°Cの養生室内で密封養生を行い、材令7日でオートクレーブによる促進腐食実験を行った。

オートクレーブの設定条件としては、1時間に60°Cの速度で容器内の温度を180°C、10気圧まで上昇させ、この温度を8時間保持した後に室温まで温度を低下させることを1サイクルとしたものである。

基礎実験結果から、1回のオートクレーブでは、基準となるコンクリート中の鉄筋の腐食が不十分である場合もあることがわかり、3回のオートクレーブ処理を行えば、基準コンクリート中の鉄筋において40~60%程度の腐食が発生し、明確に腐食の程度が確かめられることが明らかとなった。この結果を考慮し、赤鉄鉱石砕砂およびミルスケールを混入したコンクリートの場合のオートクレーブの回数は連続3回とした。

3. 基礎実験

3.1 オートクレーブの回数と鉄筋腐食の関係

基礎実験に用いたコンクリートは、表-3に示す普通コンクリートと同一のものであり、塩分を混入したものと無混入のコンクリートを作製して実験を行った。

図-1は、オートクレーブの回数とコンクリート中から取り出した鉄筋の腐食面積率の関係を示したものである。この場合の鉄筋の腐食状態を見るとかぶりとの相関が認められないことから、腐食面積率は同一条件の2本のコンクリート供試体中の4本の鉄筋の最低と最高および平均の値を示したものである。1回のオートクレーブでは、意外に腐食面積率が少なかったが、回を増すごとに腐食面積率は大きくなり、3回のオートクレーブでは平均で40%の腐食面積率を示している。一方、塩分を混入しないコンクリートの場合には、3回目のオートクレーブにおいて鉄筋の端部に若干の腐食が認められた程度であった。

3.2 オートクレーブによるコンクリートの組成変化

オートクレーブの回数と圧縮強度の関係を示したものが図-2である。塩分無混入のコンクリートの場合には1回のオートクレーブ処理で大きな強度増加を示し、2回目以降では、1回目とほぼ同程度の値を示した。これに対して塩分混入コンクリートの場合には、オートクレーブの回数とともに強度が減少している。このように塩分の混入により強度が減少することを調べるために、オートクレーブ後の強度測定用コンクリートからポロシチー

測定用の試料を取り出し、細孔径分布を調べたものが図-3、4である。

塩分無混入コンクリートの場合には、オートクレーブ処理によって細孔径500~10000Åの比較的大きな径の空隙が減少しているが、全細孔容積をみるとオートクレーブ前のもとのほぼ同程度の値になっている。このコンクリートの場合には、オートクレーブ処理によって粗大な径の空隙が減少し、強度が増加したものと考えられる。一方、図-4に示した塩分を混入したコンクリートの場合には、オートクレーブ処理によって100~1000Åの細孔径の空隙が増加し全細孔容積も著しく増加している。

4. 鉄鉱石・鉄粉を混入したコンクリートの実験結果

3回のオートクレーブ処理を行った供試体から鉄筋を

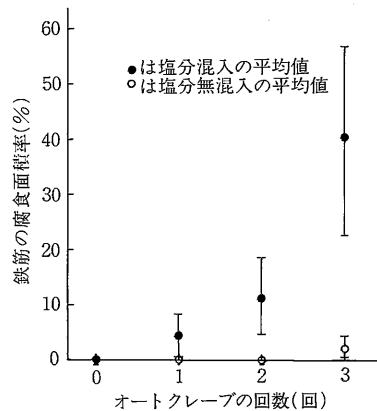


図-1 オートクレーブの回数と鉄筋の腐食面積率

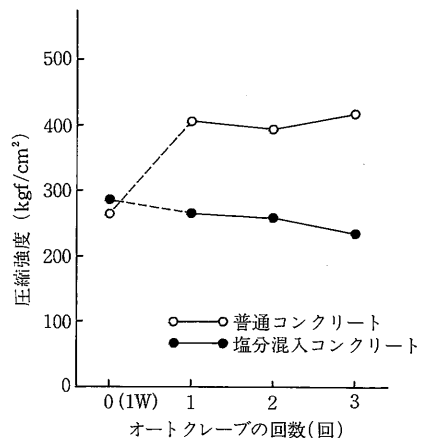


図-2 オートクレーブの回数と圧縮強度の関係

研究速報

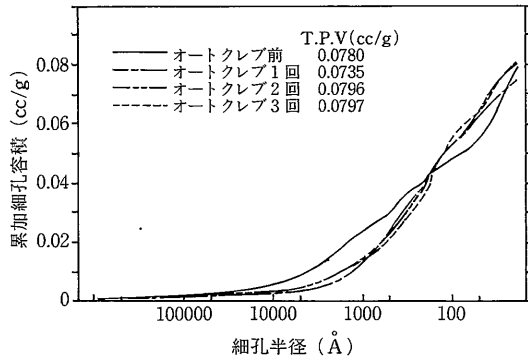


図-3 オートクレーブによる細孔径分布の変化 (塩分無混入コンクリート)

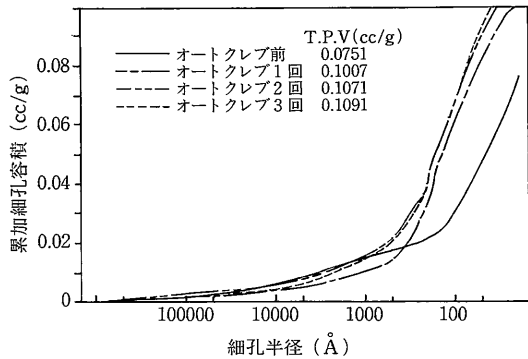


図-4 オートクレーブによる細孔径分布の変化 (塩分混入コンクリート: Cl⁻ = 5 kg/m³)

取り出し、鉄筋の腐食部分をトレースして腐食面積率で示したものが図-5、6である。図-5は赤鉄鉱石の場合であり、赤鉄鉱石砕砂の混入率が増加するにしたがい鉄筋の腐食面積率が大きく減少し、顕著な防食効果が認められた。一方、図-6に示したミルスケールを混入したコンクリートの場合には、赤鉄鉱石の場合ほど顕著ではないが、普通コンクリートの腐食状態と比較すると、明らかに防食効果が認められる。また、これらのコンクリートの圧縮強度を示したものが図-7、8である。オートクレーブ前の圧縮強度は、材料の種類や混入割合に関係なく、ほぼ同程度の値を示しているが、オートクレーブ後ではこの傾向は異なる。ミルスケール混入コンクリートの場合には、普通コンクリートと同様な傾向を示すものの、赤鉄鉱石砕砂混入コンクリートの場合には、混入割合が増すほど著しい強度低下が認められた。

このコンクリートの組成を調べるために、これらのコンクリートのポロシチーを調べた測定結果の一例を図-9~11に示した。図-11は、ミルスケールを20%混入したコンクリートの場合のものであるが、図-3に示した比較用の無混入コンクリートとはほぼ同様な傾向を示した。

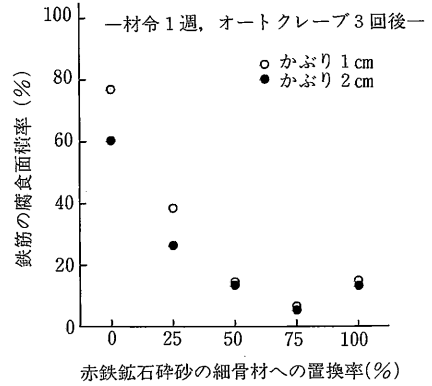


図-5 鉄筋の腐食面積率 (赤鉄鉱石)

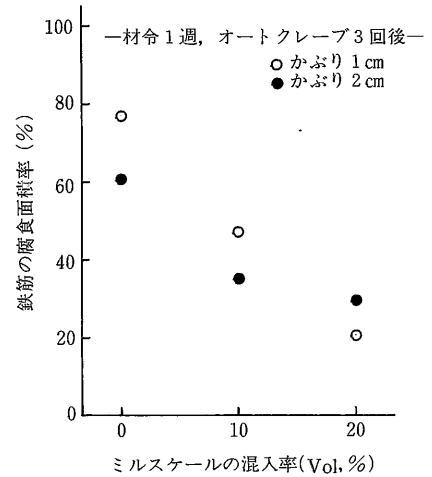


図-6 鉄筋の腐食面積率 (ミルスケール)

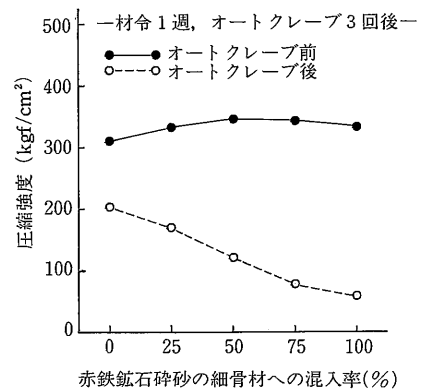


図-7 オートクレーブによる圧縮強度の変化 (赤鉄鉱石)

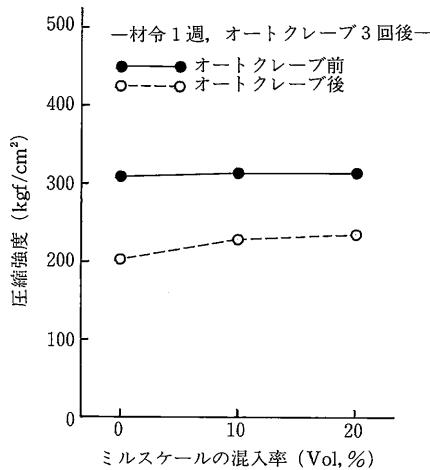


図-8 オートクレーブによる圧縮強度の変化(ミルスケール)

一方、図-9、10に示すように、細骨材の50%を赤鉄鉱石碎砂で置き換えたものやすべての細骨材を赤鉄鉱石碎砂で置き換えたもののポロシチーは、赤鉄鉱石碎砂を混入するほど粗大な径の増加が認められ、特にすべての細骨材を赤鉄鉱石碎砂で置き換えた場合には、1,000Å~10,000Åの粗大径の空隙が著しく増加した。一般にポロシチーの増加は、強度の低下のみならず塩化物の移動と腐食の発生に必要な酸素の供給の増大を意味するものであるが、赤鉄鉱石碎砂混入コンクリートではかえって防食効果が高くなっている。これは、鋼材周辺における防食被膜の形成あるいは電気化学的な現象によって防食効果が現れているものと考えられる。

5. 結 論

鉄鉱石とミルスケールを混入したコンクリート中の鉄筋の防食効果を検討した。その結果、赤鉄鉱石碎砂の場合には、混入率の増加に伴って顕著な防食効果が認められ、ミルスケールの場合にも混入に伴う防食効果が認められた。今後はさらにこれらの防食効果についての考察と検討を行う予定である。

終わりに、本研究の遂行にあたりご指導頂いた本学名誉教授でもあり千葉工業大学の小林一輔教授、ならびに材料を提供して頂いた川崎製鉄(株)研究開発センターに謝意を表します。(1991年5月7日受理)

参 考 文 献

1) 小林, 星野: 生産研究, Vol. 41 (1989) No.7, 8, 11
 2) 星野, 小林: 第11回コンクリート工学年次講演会論文

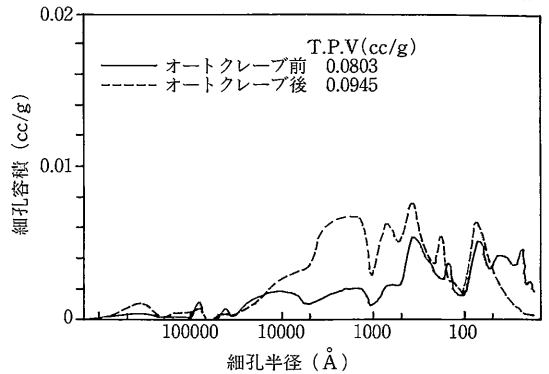


図-9 オートクレーブによる細孔径分布の変化 (赤鉄鉱石: 50%)

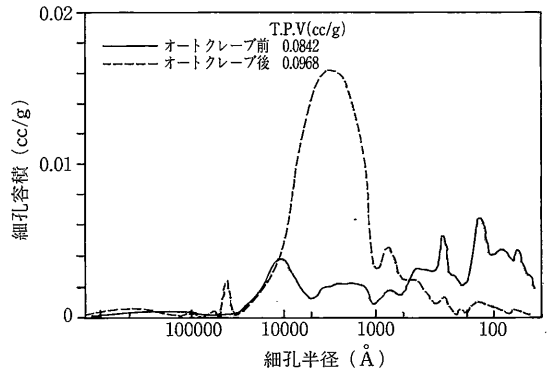


図-10 オートクレーブによる細孔径分布の変化 (赤鉄鉱石: 100%)

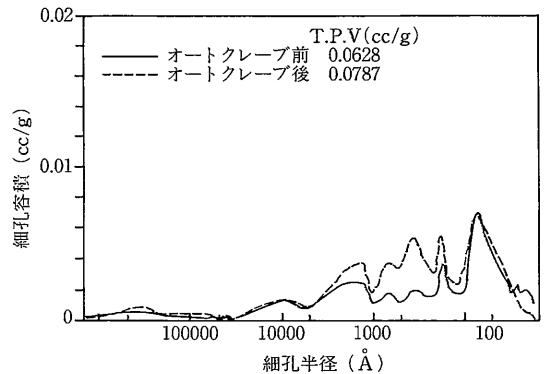


図-11 オートクレーブによる細孔径分布の変化 (ミルスケール: 20%)

集, 1989, pp621~626

3) 小林, 星野, 辻: 土木学会論文報告集, 第414号, pp195~203, 1990年2月
 4) 辻, 星野, 小林: 土木学会第45回年次学術講演会, V-254, 1990年9月